МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ
MACHINE BUILDING AND MACHINE SCIENCE



УДК 62-593 10.23947/1992-5980-2017-17-4-69-76

Зависимость энергоскоростных характеристик пневмопривода от начальных параметров дополнительного объема при торможении противодавлением[*]

А. Н. Сиротенко[1], С. А. Партко[2], Саед Бакир Аля[3]**
[1,2]Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация
[3]Алеппо университет, г. Алеппо, Сирия

Dependence of energy-speed characteristics of pneumatic drive on initial parameters of additional volume under counterpressure braking[***]

A. N. Sirotenko[1], S. A. Partko[2], Saed Bakir Ala[3]**
[1,2]Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation
[3]University of Aleppo, Aleppo, Syria

Введение. Для механизации и автоматизации технологических процессов, ввиду известных преимуществ, активно используются пневматические приводы. Однако значительная инерционность выходного звена пневмопривода, а также сжимаемость рабочей среды негативно сказываются на быстродействии привода и затрудняют безударный останов. Эта особенность обусловила наличие большого количества способов торможения выходного звена пневмопривода. Способ торможения противодавлением представляет интерес с точки зрения рекуперации энергии сжатого при торможении воздуха в дополнительный объем. Целью работы являлось выявление зависимости между начальными параметрами дополнительного объема и энергоскоростными характеристиками пневмопривода при торможении противодавлением.

Материалы и методы. Спланирован и проведен вычислительный двухфакторный эксперимент. В качестве независимых факторов принимались начальное давление и геометрический объем дополнительного объема. Факторы варьировались на трех уровнях. Быстродействие оценивалось по времени перемещения, а энергоемкость — по назначенному безразмерному критерию. Для описания зависимости факторов и критериев составлены и решены уравнения регрессии.

Результаты исследований. Получены и представлены функциональные и графические зависимости энергоскоростных характеристик пневмопривода от параметров дополнительного объема, определены их рациональные значения. Установлено, что:

1. Максимальное быстродействие пневмопривода достигается при начальных параметрах дополнительного объема:

$$p_{ак}=5\cdot10^5 Па \text{ и } V_{ак}=42\cdot10^{-6} м^3.$$

2. Минимальным энергетическим затратам в пневмопроводе соответствуют следующие начальные параметры дополнительного объема:

$$p_{ак}=2\cdot10^5 Па \text{ и } V_{ак}=210\cdot10^{-6} м^3.$$

Introduction. Pneumatic drives are abundantly used for mechanization and automation of technological processes because of the known advantages. But considerable inertia of the output link of the pneumatic drive and compressibility of the operating environment affect the drive performance and a shock-free stop block. This feature has caused existence of a large number of ways of braking of the output link of the pneumatic drive. The counterpressure braking technique is of interest from the point of view of the pressed air energy recuperation under braking into an additional volume. The work objective is to identify the dependence between the initial parameters of the additional volume and energy high-speed characteristics of the pneumatic drive under the counterpressure braking.

Materials and Methods. A computing two-factor experiment is planned and conducted. The initial pressure and geometrical volume of the additional volume were accepted as independent factors. The factors varied at three levels. The speed was assessed on transfer time, and power consumption — on the assigned dimensionless criterion. For the description of dependence of factors and criteria, regression equations were worked out and solved.

Research Results. Functional and graphic dependences of the energy high-speed characteristics of the pneumatic drive on parameters of the additional volume are received and presented; and their rational values are defined. It is established that:

1. The maximum speed of the pneumatic drive is achieved at the initial parameters of the additional volume:

$$p_{ак}=5\cdot10^5 Pa \text{ and } V_{ак}=42\cdot10^{-6} m^3.$$

2. The following initial settings of the additional volume correspond to minimum energy cost in the pneumatic drive:

$$p_{ак}=2\cdot10^5 Pa \text{ and } V_{ак}=210\cdot10^{-6} m^3.$$

Discussion and Conclusions. Variation of the initial

[*] Работа выполнена в рамках инициативной НИР.
[**] E-mail: parlana@spark-mail.ru, andsirotenko@yandex.ru, Imad12sb@gmail.com
[***] The research is done within the frame of the independent R&D.

Обсуждение и заключения. При торможении противодавлением изменение начальных параметров дополнительного объема влияет на энергоскоростные характеристики пневмопривода.

parameters of the additional volume affects the energy-speed characteristics of the pneumatic drive under the counterpressure braking.

Ключевые слова: пневматический привод, эксперимент, уравнения регрессии, рекуперация, энергосбережение, противодавление, дополнительный объем.

Keywords: pneumatic drive, experiment, regression equations, recuperation, energy saving, counterpressure, additional volume.

Образец для цитирования: Сиротенко, А. Н. Зависимость энергоскоростных характеристик пневмопривода от начальных параметров дополнительного объема при торможении противодавлением / А. Н. Сиротенко, С. А. Партко, Саед Бакир Аля. // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 4. — С. 69–76.

For citation: A.N. Sirotenko, S.A. Partko, Saed Bakir Ala. Dependence of energy-speed characteristics of pneumatic drive on initial parameters of additional volume under counterpressure braking.Vestnik of DSTU, 2017, vol. 17, no.4, pp. 69–76.

Введение. В технологическом оборудовании пневмопривод часто применяется для автоматизации и механизации вспомогательных операций. Инерционность его выходных звеньев и сжимаемость рабочей среды ограничивают скоростные характеристики и затрудняют остановку без отскока, для компенсации которого применяются различные способы и устройства [1–7]. Эти особенности обусловили наличие большого числа способов управления законами торможения выходного звена пневмопривода, наименее энергоемким из которых является способ противодавления [1,6]. В данном способе перспективным, с точки зрения энергосбережения, является торможение с рекуперацией энергии в дополнительный объем [1,6].

Целью работы являлось определение зависимостей энергетических и скоростных характеристик пневмопривода от начальных параметров рекуперативного объема при торможении выходного звена противодавлением. Необходимо было спланировать и провести вычислительный эксперимент и установить влияние параметров дополнительного объема на энергетические и скоростные характеристики пневмопривода.

Основная часть. В пищевом производстве наиболее полно возможности пневмопривода реализуются при автоматизации технологических процессов фасовки и упаковки [8–10], что обусловило значительную степень пневмофикации фасовочно-упаковочного оборудования.

Для пневматического привода фасовочно-наполнительного автомата «Алур-1500» было предложено схемотехническое решение, обеспечивающее торможение противодавлением и рекуперацию энергии сжатого при торможении воздуха в дополнительный объем [11–13]. Газодинамические процессы, протекающие в полостях пневмодвигателя, для сделанных допущений [14] были описаны математической моделью [15]. После подтверждения адекватности математической модели [16,17], для установления зависимости энергоскоростных характеристик пневмопривода от начальных параметров дополнительного объема был спланирован и проведен вычислительный эксперимент.

В качестве независимых друг от друга факторов были приняты начальное давление в дополнительном объеме (x_2) и величина дополнительного объема (x_1), которые варьировались на пяти уровнях (таблица 1). В качестве критерия быстродействия (Y_1) принимали время рабочего хода исполнительного органа (t). За критерий энергоемкости (Y_2) приняли отношение произведения величины дополнительного объема (x_1) на начальное давление в нем (x_2) к произведению конечного давления в выхлопной полости на сумму дополнительного и «пассивного» объемов пневмодвигателя. Чем меньше критерии, тем лучше.

Таблица 1
Table 1

Уровни варьирования факторами в вычислительном эксперименте

Variation levels by factors in computing experiment

Обозначение	Фактор	Уровни варьирования		
x_1	Дополнительный объем ($\times10^{-6}$м^3)	42	126	210
x_2	Начальное давление в дополнительном объеме ($\times10^5$Па)	1	3	5

Нижний уровень фактора обозначим «–1», средний – «0», верхний – «+1».

Уровни факторов закодируем в символьном виде (таблица 2). Представим уравнения регрессии $Y_1(x_1,x_2)$ и $Y_2(x_1,x_2)$ в виде полинома (1), (2):

$$Y_1 = a_0 + a_1\bar{x}_1 + a_2\bar{x}_2 + a_{12}\bar{x}_1\bar{x}_2 + a_{11}\bar{x}_1^2 + a_{22}\bar{x}_2^2 \quad (1)$$

$$Y_2 = b_0 + b_1\bar{x}_1 + b_2\bar{x}_2 + b_{12}\bar{x}_1\bar{x}_2 + b_{11}\bar{x}_1^2 + b_{22}\bar{x}_2^2 \quad (2)$$

Таблица 2

Table 2

Результаты вычислительных опытов двухфакторной модели

Results of computing experiments of two-factor model

Факторы		Критерии	
Величина дополнительного объема, x_1	Начальное давление в дополнительном объеме, x_2	Быстродействие, Y_1	Энергоемкость, Y_2,
–	–	0,922	3,331
–	0	0,918	3,362
–	+	0,911	3,415
0	–	0,951	2,220
0	0	0,934	2,239
0	+	0,934	2,281
+	–	0,968	1,879
+	0	0,956	1,876
+	+	0,946	1,915

Для вычисления коэффициентов уравнений регрессии, с учетом того, что факторы представлены в символьном виде, построим следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} a_0 - a_1 - a_2 + a_{12} + a_{11} + a_{22} = 0,922 \\ a_0 - a_1 + a_{11} = 0,918 \\ a_0 - a_1 - a_2 - a_{12} + a_{11} + a_{22} = 0,911 \\ a_0 - a_2 + a_{22} = 0,951 \\ a_0 = 0,934 \\ a_0 + a_2 + a_{22} = 0,934 \\ a_0 + a_1 - a_2 - a_{12} + a_{11} + a_{22} = 0,968 \\ a_0 + a_1 + a_{11} = 0,956 \\ a_0 + a_1 + a_2 + a_{12} + a_{11} + a_{22} = 0,946 \end{cases} \quad (3)$$

$$\begin{cases} b_0 + b_1 + b_2 + b_{12} + b_{11} + b_{22} = 3,331 \\ b_0 - b_1 + b_{11} = 3,362 \\ b_0 - b_1 + b_2 - b_{12} + b_{11} + b_{22} = 3,415 \\ b_0 - b_2 + b_{22} = 2,221 \\ b_0 = 2,239 \\ b_0 + b_2 + b_{22} = 2,281848 \\ b_0 + b_1 - b_2 - b_{12} + b_{11} + b_{22} = 1,879261 \\ b_0 + b_1 + b_{11} = 1,876611 \\ b_0 + b_1 + b_2 + b_{12} + b_{11} + b_{22} = 1,915543 \end{cases} \quad (4)$$

После решения систем (3) и (4) получим следующие коэффициенты регрессии для символьных переменных:

a_0*=0,934;* a_1*=0,01983;* a_2*= – 0,0083;* a_{11}*=0,003;* a_{12}*= – 0,00275;* a_{22}*=0,0085;*

b_0*=2,2395;* b_1*= – 0,73976;* b_2*=0,03014;* b_{11}*=0,38016;* b_{12}*= – 0,01182;* b_{22}*=0,011732;*

Уравнения регрессии в символьных переменных, с учетом полученных коэффициентов, примет следующий вид:

$$Y_1 = 0,968 + 0,01983\bar{x}_1 - 0,0083\bar{x}_2 - 0,00275\bar{x}_1\bar{x}_2 + 0,003\bar{x}_1^2 + 0,0085\bar{x}_2^2 \quad (5)$$

$$Y_2 = 2,2395 - 0,73976\bar{x}_1 + 0,03014\bar{x}_2 - 0,01182\,\bar{x}_1\bar{x}_2 + +0,38016\bar{x}_1^2 + 0,01173\bar{x}_2^2 \quad (6)$$

Анализ результатов сравнения полученных уравнений с данными из вычислительного эксперимента показал хорошую сходимость и представлен в таблице 3.

Таблица 3

Table 3

Результаты сравнительного анализа полученных уравнений регрессии с данными вычислительного эксперимента

Comparative analysis results of obtained regression equations with computing experiment data

$\bar{x}_1$	Y_1	$Y_1^{таб}$	δ_1,%	$\bar{x}_2$	$Y_2^{таб}$	Y_2	δ_2,%
–	0,922	0,931	–1	–	3,329	3,331	0,007
–	0,918	0,917	0,09	0	3,359	3,362	0,1
–	0,911	0,92	–0,99	+	3,352	3,415	1,827
0	0,951	0,951	0,018	–	2,221	2,220	–0,016
0	0,934	0,934	0	0	2,239	2,239	0
0	0,934	0,934	–0,018	+	2,281	2,281	0,016
+	0,968	0,976	–0,87	–	1,873	1,879	0,311
+	0,956	0,956	–0,087	0	1,879	1,876	–0,18
+	0,946	0,954	–0,872	+	1,910	1,915	0,286

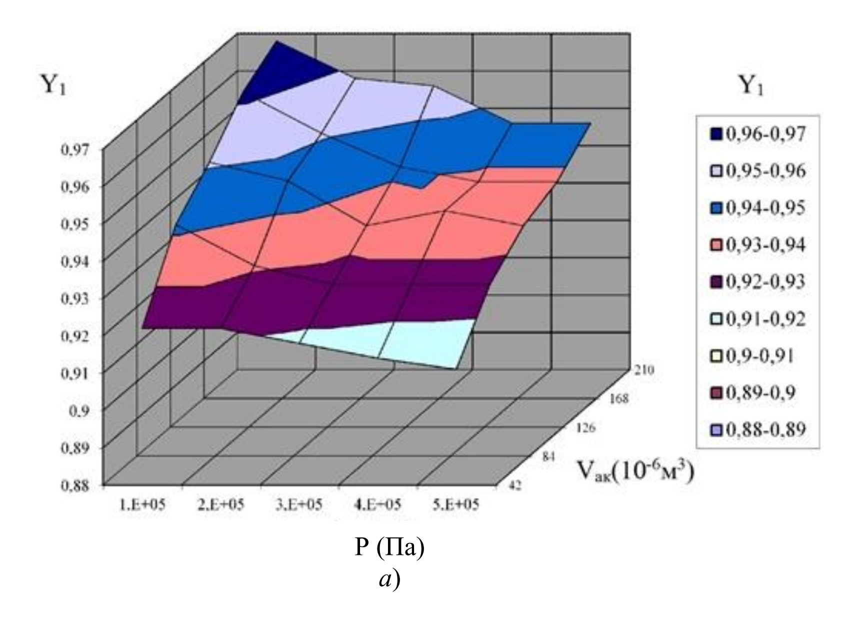
Найдем минимум $Y_1(\bar{x}_1; \bar{x}_2)$ и максимум $Y_2(\bar{x}_1; \bar{x}_2)$, взяв частные производные $\frac{\partial Y_1}{\partial x_1}$, $\frac{\partial Y_1}{\partial x_2}$, $\frac{\partial Y_2}{\partial x_1}$, $\frac{\partial Y_2}{\partial x_2}$ от уравнений (5) и (6). После дифференцирования и приравнивания к нулю получим системы нормальных уравнений:

для $\frac{\partial Y_1}{\partial x_1}$, $\frac{\partial Y_1}{\partial x_2}$,

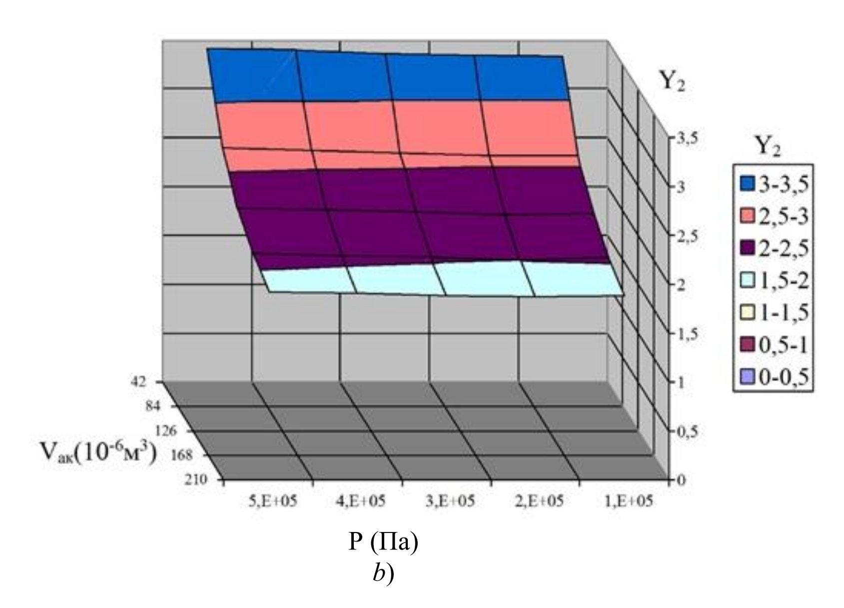
$$\begin{cases} 0,006\bar{x}_1 - 0,0027\bar{x}_2 = -0,01983 \\ -0,00275\bar{x}_1 + 0,0170\bar{x}_2 = 0,0083 \end{cases} \left| \begin{array}{l} \bar{x}_1^{опт} = 3,3275 \\ \bar{x}_2^{опт} = -0,04809 \end{array} \right. \quad (7)$$

для $\frac{\partial Y_2}{\partial x_1}$, $\frac{\partial Y_2}{\partial x_2}$,

$$\begin{cases} -0,01182\bar{x}_1 - 0,7603\bar{x}_2 = 0,73977 \\ 0,01182\bar{x}_1 + 0,0234\bar{x}_2 = -0,03014 \end{cases} \left| \begin{array}{l} \bar{x}_1^{опт} = 0,9605 \\ \bar{x}_2^{опт} = -0,8008 \end{array} \right. \quad (8)$$



P (Па)
а)



P (Па)
b)

Рис. 1. Зависимость критериев: а — быстродействия, (Y_1); б — энергоемкости, (Y_2) – от начальных параметров дополнительного объема, давления *(p)* и величины объема *($V_{ак}$)*

Fig.1. Dependence of criteria: a – speed (Y_1); b – power consumption (Y_2) – on initial parameters of additional volume, pressure (p) and volume size (V_{ak})

Подставляя полученные оптимальные значения в уравнения регрессии (5) и (6) для Y_1, Y_2 находим их оптимум:

$$Y_1^{опт}=0,901,$$

$$Y_2^{опт}=1,872.$$

Отклонение от данных вычислительного эксперимента $\delta_1=1,07\%$, $\delta_2=-0,513\%$.

После проведения аппроксимации для критериев Y_1, Y_2, учитывая, что $x_1=h$ и $x_2=p$, получены следующие степенные зависимости:

$$Y_1 = 1,1309 h_i^{0,02424} p_i^{-0,01241} \quad (9)$$

$$Y_2 = 1,2122 h_i^{-0,35915} p_i^{0,01513} \quad (10)$$

где *h (м)*, *p (Па)* — величина дополнительного объема, приведенная к площади поршня пневмодвигателя и абсолютное начальное давление в дополнительном объеме соответственно.

После раскодирования символьных переменных уравнения регрессии (5) и (6) принимают следующий вид:

$$Y_1 = 0,934 + 9,9166\cdot10^{-2}(h-0,3) - 4,1666\cdot10^{-8}(p-300000) -$$
$$-6,875\cdot10^{-8}(h\cdot p - 300000h - 0,3p + 90000) + 7,5\cdot10^{-2}(h^2 - 0,6h + 0,09) +$$
$$+2,125\cdot10^{-13}(p^2 - 600000p + 9\cdot10^{10})$$

$$Y_2 = 2,2395 - 3,6988(h - 0,3) + 1,5074 \cdot 10^{-7}(p - 300000) -$$
$$-2,9559 \cdot 10^{-7}(h \cdot p - 300000h - 0,3p + 90000) + 9,50413 \cdot$$
$$(h^2 - 0,6h + 0,09) + 2,933 \cdot 10^{-13}(p^2 - 600000p + 9 \cdot 10^{10})$$

Графически зависимость критериев быстродействия и энергоемкости пневмопривода от параметров дополнительного объема представлена на рис. 1.

Максимальные энергозатраты в пневмоприводе соответствуют значениям параметров дополнительного объема: $p_{ак}=5 \cdot 10^5$Па и $V_{ак}=210 \cdot 10^{-6}$м^3.

Максимальное давление рекуперации в дополнительный объем достигается при начальных параметрах дополнительного объема: $V_{ак}=42 \cdot 10^{-6}$м^3 и $p_{ак}=5 \cdot 10^5$Па.

Максимальная скорость выходного звена пневмопривода достигается при начальных параметрах дополнительного объема: $p_{ак}=5 \cdot 10^5$Па и $V_{ак}=210 \cdot 10^{-6}$ м^3.

Выводы:

1) Максимальное быстродействие пневмопривода достигается при начальных параметрах дополнительного объема: $p_{ак}=5 \cdot 10^5$Па и $V_{ак}=42 \cdot 10^{-6}$м^3.

2) Минимальным энергозатратам соответствуют начальные параметры дополнительного объема: $p_{ак}=2 \cdot 10^5$Па и $V_{ак}=210 \cdot 10^{-6}$м^3.

Библиографический список

1. Mohd Yusop, M. Y. Energy Saving for Pneumatic Actuation using Dynamic Model Prediction: Submitted for the degree of PhD / M. Y. Mohd Yusop; School of Engineering. Cardiff University. – Wally, UK, 2006. – 212 p.
2. Rahmat M. F. Review on modeling and controller design in pneumatic actuator control system / M. F. Rahmat, N. H Sunar and Sy Najib Sy Salim, Mastura Shafinaz Zainal Abidin , A. A Mohd Fauzi and Z. H. Ismail // International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, vol. 4, no. 4, pp.630–661, 2011.
3. Vladislav Blagojevic. Cost effectiveness of restoring energy in execution part of pneumatic system / Vladislav Blagojevic, Dragan Šešlija and Miodrag Stojiljkovic // Journal of Scientific & Industrial Research. Vol. 70, February 2011, pp. 170–176.
4. Yong Zhu, Eric J. Barth. An Energetic Control. Methodology for exploiting the passive dynamics of pneumatically actuated hopping//Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, vol. 130, pp. 041004-1…041004-10, 2008.
5. Евдокимов, А. И. Энергосберегающие пневматические приводы технологических машин / А. И. Евдокимов, Е. Б. Кривошеев, В. П. Леонова // Компрессорная техника и пневматика. — 2010. — №2. — С. 22–24.
6. Филипов, И. Б. Тормозные устройства пневмоприводов / И. Б. Филипов. — Москва : Машиностроение, 1987. — 143 с.
7. Грищенко, В. И. Динамика процесса позиционирования приводов с гидроамортизатором / В. И. Грищенко, М. С. Килина, В. А. Чернавский // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2012. — Т. 12, № 4 (65). — С. 16–21.
8. Антибас, И. Р. Влияние формы гофрированного картона на амортизирующие свойства упаковки / И. Р. Антибас, С. А. Партко, А. Н. Сиротенко // Вестник Донского гос. техн. ун-та. — 2016. — Т. 16, № 1 (84). — С. 36–42.
9. Антибас, И. Р. Сравнение амортизирующих свойств гофрированной картонной упаковки разной структуры при действии вертикальной нагрузки / И. Р. Антибас, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 8-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 232–235.
10. Антибас, И. Р. Влияние параметров плодов на их повреждения при транспортировке / И. Р. Антибас, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 9-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 19-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2016». — Ростов-на-Дону, 2016. — С. 79–82.
11. Сиротенко, А. Н. Рекуперация энергии в пневмоприводе фасовочно-наполнительного оборудования / А. Н. Сиротенко, А. Г. Дьяченко, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 6-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 16-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2013». — Ростов-на-Дону, 2013. — С. 69–71.
12. Сиротенко, А. Н. Улучшение характеристик пневмопривода поворота платформы фасовочно-наполнительного автомата / А. Н. Сиротенко, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 8-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 18-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2015». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 179–182.

13. Дьяченко, А. Д. Улучшение характеристик пневматического привода установки для фасования и упаковки жидких продуктов / А. Д. Дьяченко, А. И. Удовкин, А. Н. Сиротенко // Совершенствование процессов и технических средств в АПК : сб. науч. трудов. Министерство сельского хозяйства и продовольствия Российской Федерации. Азово-Черном. гос. агроинженер. акад. — Зерноград, 2006. — С. 79–81.

14. Герц, Е. В. Динамика пневматических систем машин / Е. В. Герц. — Москва : Машиностроение, 1985. — 265 с.

15. Sirotenko A.N. Decrease in Power Inputs in Pneumodrive Weighing-and-Packing Machine/ A.N. Sirotenko, S.A. Partko //International Journal of Applied Engineering Research. — 2017. — V. 12, № 14, P. 4599–4603.

16. Сиротенко, А. Н. Энергосберегающий пневмопривод технологического оборудования / А. Н. Сиротенко, С. А. Партко // Инновационные технологии в машиностроении и металлургии: сб. статей VI науч.-практ. конф. — Ростов-на-Дону, 2014. — С. 173–177.

17. Сиротенко, А. Н. Рекуперация энергии в пневмоприводе поворота платформы фасовочно-наполнительного автомата / А. Н. Сиротенко, А. Г. Дьяченко, С. А. Партко // Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения : сб. статей 7-й Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-й Междунар. агропром. выставки «Интерагромаш-2014». — Ростов-на-Дону, 2015. — С. 122–124.

References

1. Mohd Yusop, M.Y. Energy Saving for Pneumatic Actuation using Dynamic Model Prediction: Submitted for the degree of PhD. School of Engineering. Cardiff University. Wally, UK, 2006, 212 p.

2. Rahmat, M.F., Sunar, N.H, and Sy Najib Sy Salim, Mastura Shafinaz Zainal Abidin, Mohd Fauzi, A.A. and Ismail, Z.H. Review on modeling and controller design in pneumatic actuator control system. International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems, 2011, vol. 4, no. 4, pp.630–661.

3. Blagojevic, V., Šešlija, D., Stojiljkovic, M. Cost effectiveness of restoring energy in execution part of pneumatic system. Journal of Scientific & Industrial Research, February 2011, vol. 70, pp. 170-176.

4. Yong Zhu, Eric J. Barth. An Energetic Control. Methodology for exploiting the passive dynamics of pneumatically actuated hopping. Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, 2008, vol. 130, pp. 041004-1…041004–10.

5. Evdokimov, A.I., Krivosheyev, E.B., Leonova, V.P. Energosberegayushchie pnevmaticheskie privody tekhnologicheskikh mashin. [Energy saving pneumatic drives for technological machinery.] Compressor Technology and Pneumatics, 2010, no. 2, pp. 22–24 (in Russian).

6. Filipov, I.B. Tormoznye ustroystva pnevmoprivodov. [Break assemblies of pneumatic drives.] Moscow: Mashinostroenie, 1987, 143 p. (in Russian).

7. Grishchenko, V.I., Kilina, M.S., Chernavskiy, V.A. Dinamika protsessa pozitsionirovaniya privodov s gidroamortizatorom. [Positioning dynamics of drive gears with hydroabsorber.] Vestnik of DSTU, 2012, vol. 12, no. 4 (65), pp. 16–21 (in Russian).

8. Antipas, I.R., Partko, S.A., Sirotenko, A.N. Vliyanie formy gofrirovannogo kartona na amortiziruyushchie svoystva upakovki. [Effect of corrugated cardboard shape on the packing damping properties.] Vestnik of DSTU, 2016, vol. 16, no. 1 (84), pp. 36–42 (in Russian).

9. Antypas, I.R., Partko, S.A. Sravnenie amortiziruyushchikh svoystv gofrirovannoy kartonnoy upakovki raznoy struktury pri deystvii vertikal'noy nagruzki. [Comparison of damping properties of corrugated cardboard packaging of different structures under vertical loading.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 8-y Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 18-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 8th Int. Jubilee Sci.-Pract. Conf. within framework of the 18th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2015”.] Rostov-on-Don, 2015, pp. 232-235 (in Russian).

10. Antypas, I.R., Partko, S.A. Vliyanie parametrov plodov na ikh povrezhdeniya pri transportirovke. [Effect of fruit parameters on their damage in transit.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 9-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 19-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2016». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 9th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of the 19th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2016”.] Rostov-on-Don, 2016, pp. 79–82 (in Russian).

11. Sirotenko, A.N., Dyachenko, A.G., Partko, S.A. Rekuperatsiya energii v pnevmoprivode fasovochno-napolnitel'nogo oborudovaniya. [Energy recovery in pneumatic drive of packing and filling equipment.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 6-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 16-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2013». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 6th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of the 16th Int. Agroindustrial Exhibition “Interagromash-2013”.] Rostov-on-Don, 2013, pp. 69–71 (in Russian).

12. Sirotenko, A.N., Partko, S.A. Uluchshenie kharakteristik pnevmoprivoda povorota platformy fasovochno-napolnitel'nogo avtomata. [Improvement of characteristics of pneumatic drive of packing-filling machine platform turn.]

Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 8-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 18-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2015». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 8th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of the 18th Int. Agroindustrial Exhibition "Interagromash-2015".] Rostov-on-Don, 2015, pp. 179–182 (in Russian).

13. Dyachenko, A.G, Udovkin, A.I., Sirotenko, A.N. Uluchshenie kharakteristik pnevmaticheskogo privoda ustanovki dlya fasovaniya i upakovki zhidkikh produktov. [Improving characteristics of pneumatic drive unit for packaging liquid products.] Sovershenstvovanie protsessov i tekhnicheskikh sredstv v APK: cb. nauch. trudov. [Perfection of processes and technical means in agroindustrial complex: coll.of sci.papers.] Ministry of Agriculture and Food, RF. Azov-Black Sea State Agro-Engineering Academy, Zernograd, 2006, pp. 79–81 (in Russian).

14. Gerts, E.V. Dinamika pnevmaticheskikh sistem mashin. [Dynamics of machine pneumatic systems.] Moscow: Mashinostroenie, 1985, 265 p. (in Russian).

15. Sirotenko, A.N., Partko, S.A. Decrease in Power Inputs in Pneumodrive Weighing-and-Packing Machine. International Journal of Applied Engineering Research, 2017, vol. 12, no. 14, pp. 4599–4603.

16. Sirotenko, A.N., Partko, S.A. Energosberegayushchiy pnevmoprivod tekhnologicheskogo oborudovaniya. [Energy-saving pneumatic drive of process equipment.] Innovatsionnye tekhnologii v mashinostroenii i metallurgii: sb. statey VI nauch.-prakt. konf. [Innovative technologies in mechanical engineering and metallurgy: Proc. VI Sci.-Pract. Conf.] Rostov-on-Don, 2014, pp. 173–177 (in Russian).

17. Sirotenko, A.N., Dyachenko, A.G., Partko, S.A. Rekuperatsiya energii v pnevmoprivode povorota platformy fasovochno-napolnitel'nogo avtomata. [Energy recovery in pneumatic drive of packing-filling machine platform turn.] Sostoyanie i perspektivy razvitiya sel'skokhozyaystvennogo mashinostroeniya: sb. statey 7-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh 17-y Mezhdunar. agroprom. vystavki «Interagromash-2014». [State and prospects of agricultural machinery development: Proc. 7th Int. Sci.-Pract. Conf. within framework of the 17th Int. Agroindustrial Exhibition "Interagromash-2014".] Rostov-on-Don, 201, pp. 122–124 (in Russian).

Поступила в редакцию 12.05.2017
Сдана в редакцию 12.05.2017
Запланирована в номер 17.09.2017

Received 12.05.2017
Submitted 12.05.2017
Scheduled in the issue 17.09.2017

Об авторах:

Сиротенко Андрей Николаевич,
доцент кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), кандидат технических наук,
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
andsirotenko@yandex.ru

Партко Светлана Анатольевна,
старший преподаватель кафедры «Основы конструирования машин» Донского государственного технического университета (РФ, 344000 г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1), Кандидат технических наук,
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8568-0716
parlana@spark-mail.ru

Саед Бакир Аля,
доцент кафедры «Прикладная механика» Алеппо университета, доктор технических наук (Сирия, Алеппо, Алеппо университет)
Imad12sb@gmail.com

Authors:

Sirotenko, Andrey N.,
associate professor of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand.Sci. (Eng.), ORCID:
ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9956-1032
andsirotenko@yandex.ru

Partko, Svetlana A.,
senior lecturer of the Machine Design Principles Department, Don State Technical University (RF, 344000, Rostov-on-Don, Gagarin sq., 1), Cand.Sci. (Eng.), ORCID:
ORCID: http://orcid.org/0000-0002-8568-0716
parlana@spark-mail.ru

Saed Bakir Ala,
associate professor of the Applied Mathematics Department, University of Aleppo (Syria, Aleppo), Dr.Sci. (Eng.)
Imad12sb@gmail.com